

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

PATENT

#4
Priority
Paper
8/27/99
Adventures

In re the Application of: Akito KURAMATA, et al.

Serial No.: 09/313,764

ATTN: BOX MISSING PARTS

Filed: May 18, 1999

Group Art Unit: 2812

FOR: OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE HAVING AN EPITAXIAL LAYER OF III-V
COMPOUND SEMICONDUCTOR MATERIAL CONTAINING N AS A GROUP V
ELEMENT

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

July 8, 1999

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign applications is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 10-135425, filed May 18, 1998

Japanese Appln. No. 10-353241, filed December 11, 1998

In support of this claim, the requisite certified copies of said original foreign applications are filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said documents.

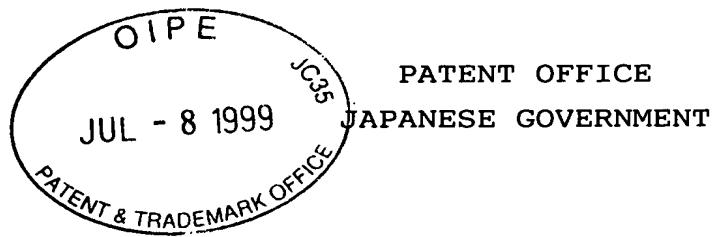
In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,
ARMSTRONG, WESTERMAN, HATTORI
McLELAND & NAUGHTON



Atty. Docket No.: 990527
Suite 1000, 1725 K Street, N.W.
Washington, D.C. 20006
Tel: (202) 659-2930
Fax: (202) 887-0357
DWH/lif

Donald W. Hanson
Reg. No. 27,133



This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this office.

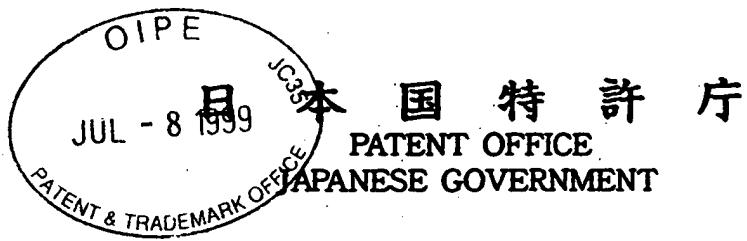
Date of Application: May 18, 1998

Application Number: Japanese Patent Application
No.10-135425

Applicant(s) FUJITSU LIMITED

April 23, 1999

Certificate No.11-3024860



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 1998年 5月18日

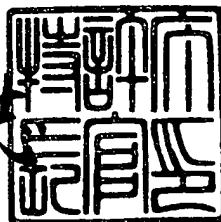
出願番号
Application Number: 平成10年特許願第135425号

出願人
Applicant(s): 富士通株式会社

1999年 4月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

伴佐山 建



出証番号 出証特平11-3024860

【書類名】 特許願
【整理番号】 9706684
【提出日】 平成10年 5月18日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 3/096
【発明の名称】 半導体ウエハ、半導体発光装置、および半導体結晶成長方法
【請求項の数】 8
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
【氏名】 倉又 朗人
【特許出願人】
【識別番号】 000005223
【氏名又は名称】 富士通株式会社
【代理人】
【識別番号】 100091340
【弁理士】
【氏名又は名称】 高橋 敬四郎
【電話番号】 03-3832-8095
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 009852
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9705794
【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体ウエハ、半導体発光装置、および半導体結晶成長方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型SiC基板と、

前記n型SiC基板上に直接エピタキシャルに形成され、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有するn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層（ $0 < x < 0.4$ ）と

を有する半導体ウエハ。

【請求項2】 前記n型SiC基板は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有する請求項1に記載の半導体ウエハ。

【請求項3】 前記n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層のAl組成xが0.09未満である請求項1または2に記載の半導体ウエハ。

【請求項4】 前記n型SiC基板が（0001）Si面を有し、前記n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層が、この（0001）Si面上に形成されている請求項1～3のいずれかに記載の半導体ウエハ。

【請求項5】 n型SiC基板上に、有機分子気相成長法により、成長圧力90torr以下でn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層（ $0 < x < 0.4$ ）をエピタキシャルに成長する半導体結晶成長方法。

【請求項6】 n型SiC基板と、

前記n型SiC基板上に直接エピタキシャルに形成され、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有するn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ バッファ層（ $0 < x < 0.4$ ）と、

前記n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層バッファ層上にエピタキシャルに形成されたn型層構造と、

前記n型層構造上にエピタキシャルに形成された活性層構造と、

前記活性層構造上にエピタキシャルに形成されたp型層構造と、

前記p型層構造上に形成されたp側電極と、

前記SiC基板上に形成されたn側電極と

を有する半導体発光装置。

【請求項7】 前記n型SiC基板は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有する請求項6に記載の半導体発光装置。

【請求項8】 前記n型Al_xGa_{1-x}N層のAl組成xが0.09未満である請求項6または7に記載の半導体発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、GaN系半導体技術に関し、特にSiC基板上に形成するGaN系半導体技術に関する。ここで「半導体技術」とは、半導体ウエハ、半導体装置、半導体結晶成長方法、半導体装置の製造方法を含む概念である。

【0002】

【従来の技術】

近年、GaNを含む材料であるGaN系材料を用いた半導体発光装置の開発が盛んに行われている。GaN系半導体材料は、紫色、青色、緑色等の発光が可能な広いバンドギャップを有している。カラー表示の観点からは、既に開発されている赤色発光素子、緑色発光素子に青色発光素子を加えることによりフルカラーの表示が可能となる。光読み取り、記録／再生等の観点からは、用いる光の短波長化により分解能向上、記録密度の向上が可能となる。

【0003】

GaN基板は入手が困難なため、GaN系半導体装置は異種材料の基板の上にGaN系材料層をエピタキシャル成長することによって形成される。従来のGaN系半導体装置の多くは、サファイア (Al₂O₃) c面基板上にGaN系材料層を成長することによって形成されてきた。

【0004】

しかし、サファイアc面はGaNに対し13%以上の格子不整合を有する。また、サファイアは電気的導電性を与えられない絶縁物であり、劈開性に乏しい性質も有する。

【0005】

半導体レーザダイオードを作成する場合、劈開性に乏しい絶縁基板を用いるこ

とは、劈開以外のイオンミリング等の方法によってキャビティを作らねばならないこと、および基板上方のエピタキシャル層にn側電極とp側電極を形成しなければならないことを意味する。電気的導電性を付与でき、劈開性のある基板を用いることができれば、これらの問題点は解決する。

【0006】

ごく最近、SiC基板の上にGaN系半導体装置を形成した報告がなされている。SiCは、劈開性を有し、電気的導電性を付与することのできる材料である。また、SiC基板は、GaNとの格子不整合が4%以下とサファイア基板よりも格子不整合が格段に小さく、かつ熱伝導特性がサファイア基板よりも優れている特性を有する。

【0007】

米国のクリー社は、SiC基板を用いてGaN系半導体レーザを作製している。その他、SiC基板上にGaN系半導体素子を形成するいくつかの提案がある。

【0008】

SiC基板上にGaN系半導体結晶を成長する場合、GaN層をバッファ層として用いる提案もある。しかしながら、GaN層をバッファ層として用いた場合、平坦な表面を有する層を形成することは非常に困難である。

【0009】

SiC基板上に、平坦なGaN系半導体結晶を成長する場合、成長初期のバッファ層としてAlN層かAlGaN層を用いると、平坦な表面が得られ、その上にGaN系半導体結晶を平坦に成長することができるとの報告もある。なお、現在の技術では、AlNに電気的伝導性を持たせることは不可能である。

【0010】

AlGaNは、Al組成が40%以下の組成において、n型の電気伝導性を持たせることが可能である。AlGaN層をバッファ層として用いることにより、SiC基板とGaN系結晶とを電気的に導通させることが可能となる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

SiC基板上に、AlGaNバッファ層を堆積し、その上にGaN系結晶層をエピタキシャルに成長することにより、SiC基板とGaN系結晶層との間を電気的に接続することが可能である。しかしながら、良好な電気的伝導性を実現するには、どのような条件を満たせばよいかは未だ知られていない。

【0012】

本発明の目的は、SiC基板上にGaN系半導体結晶をエピタキシャルに成長し、かつSiC基板とGaN系半導体結晶層との間に良好な電気的伝導性を実現する技術を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明の1観点によれば、n型SiC基板と、前記n型SiC基板上に直接エピタキシャルに形成され、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有するn型 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層($0 < x < 0.4$)とを有する半導体ウエハが提供される。

【0014】

本発明の他の観点によれば、n型SiC基板と、前記n型SiC基板上に直接エピタキシャルに形成され、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有するn型 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ バッファ層($0 < x < 0.4$)と、前記n型 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層バッファ層上にエピタキシャルに形成されたn型層構造と、前記n型層構造上にエピタキシャルに形成された活性層構造と、前記活性層構造上にエピタキシャルに形成されたp型層構造と、前記p型層構造上に形成されたp側電極と、前記SiC基板上に形成されたn側電極とを有する半導体発光装置が提供される。

【0015】

本発明のさらに他の観点によれば、n型SiC基板上に、有機分子気相成長法により、成長圧力90torr以下でn型 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層($0 < x < 0.4$)をエピタキシャルに成長する半導体結晶成長方法が提供される。

【0016】

本発明者の検討によれば、従来の技術によりSiC基板上にn型AlGaN層

を成長した場合、コンタクト抵抗が高いことが判った。n型AlGaN層のキャリア濃度を、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内に設定すると、コンタクト抵抗を低減することができる。また、成長圧力を90 torr以下にすると、Al組成が小さくかつ平坦な表面を有する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ エピタキシャル層を得ることができる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.4$) をAlGaNと記す。この組成範囲がn型ドーピングが可能で、かつエピタキシャル層表面を平坦にできる範囲である。AlGaN層は、SiC基板上有機分子気相成長法(MOVPE)によりエピタキシャルに成長することができる。成長圧力を100 torrとした場合、AlGaNのAl組成を9%以上とした時、平坦な表面を得ることができる。

【0018】

n型SiC基板上に、n型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ バッファ層を成長し、その上に所望のGaN系結晶層を積層してGaN系レーザを形成することができる。このようにして作成したGaN系半導体レーザは、発振波長420 nmで発振し、しきい値電流は500 mA、しきい値電圧は22 Vであった。

【0019】

GaN系半導体のp-n接合の作り付け電位は本来約3 Vであり、この値から期待される理想的な半導体レーザのしきい値は4~5 Vである。実際に必要であったしきい値電圧22 Vは、p-n接合の作り付け電位から期待される理想値と較べると極めて大きな電圧である。

【0020】

本発明者は、しきい値電圧が高い原因を究明し、SiC基板とAlGaNバッファ層の間の界面抵抗が大きな原因の1つであることを解明した。

【0021】

SiCとAlGaNのバンド構造の詳細は、現在まで明確ではない。さらに、SiCとAlGaNの界面には多くの結晶欠陥が存在する。従って、SiC-A

1 G a N 界面の界面抵抗を下げる方法を理論的に究明することは非常に困難である。

【0022】

そこで、本発明者は実験的手法により S i C 基板とその上に成長するバッファ層との間の界面抵抗を低減できる解決策を求め、その結果を得た。

【0023】

図1に、実験に用いたサンプルの構成を概略的に示す。改良レイリー法によりバルク成長させた窒素ドープのn型S i C 基板1は、厚さ約200 μ m、面積約1 cm^2 であり、6H-ウルツァイト構造の(0001) S i面を有する。n型A1G a N層2は、n型不純物としてS iを用い、S i C 基板上にMOVPE法によりエピタキシャルに成長され、厚さ約1 μ mである。なお、電極とのコンタクト抵抗を低減させるため、n型A1G a N層2の上に、さらにn型G a N層3を厚さ約0.2 μ m MOVPEによりエピタキシャルに成長した。

【0024】

MOVPEは、ソースガスとして例えばトリメチルガリウム(TM G)、トリエチルガリウム(TE G)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルイソジウム(TMI)、アンモニア(NH₃)を用い、不純物ガスとしてモノシラン(S i H₄)とビスシクロペンタジエニルマグネシウム(C_P₂Mg)を用い、成長温度1090°Cで行った。

【0025】

S i C 基板の裏面全面にN iの電極5を形成し、n型G a N層3の表面上に円形またはストライプ状の電極6を形成した。電極6は、T i層の上にA1層を積層した積層電極である。円形電極の場合には、直径を30 μ m~90 μ mの範囲で選択した。ストライプ状電極の場合、幅は2~15 μ m、長さは300~900 μ mの範囲で選択した。n型A1G a N層2およびn型S i C 基板のn型キャリア濃度、n型A1G a N層2のA1組成、MOVPEの成長圧力を変化させて、その結果を調べた。

【0026】

図1 (B) は、n型A1G a N層2のキャリア濃度を変化させた時の、S i C

／AlGaN界面の界面抵抗率の変化を示すグラフである。横軸はn型AlGaN層中のn型キャリア濃度を対数スケール、単位 cm^{-3} で示し、縦軸は界面抵抗率を対数スケール、単位 Ωcm^2 で示す。n型SiC基板1のn型キャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ とし、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層のAl組成は $x = 0.09$ とした。

【0027】

なお、グラフにはn型AlGaN層中のキャリア濃度を $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ まで変化させた時の界面抵抗率のプロットを示す。図1 (A)に示す構成の場合、電極、SiC基板、AlGaN層、GaN層それぞれのバルク抵抗は無視できる程度の値であり、電極の接触抵抗、AlGaN/GaNの界面抵抗も無視できる値である。従って、電極5、6間に電流を流した時に測定される抵抗は、実効的にSiC/AlGaNの界面抵抗のみである。

【0028】

図から明らかなように、界面抵抗率のプロットは、2つの直線r1、r2上に乗っている。すなわち、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上の場合、界面抵抗率のプロットは勾配のゆるやかな直線r2上にあり、キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下の場合界面抵抗率のプロットは勾配の急な直線r1上にある。

【0029】

直線r2は直線r1よりも勾配がゆるやかであり、キャリア濃度を変化させたときの界面抵抗率の変化が小さいことを示している。また、勾配の異なる2つの直線は、直線r1の領域と直線r2の領域で異なる現象が生じていることを示唆する。

【0030】

n型AlGaN層2のキャリア濃度を約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上にすれば、AlGaN/SiC界面の界面抵抗率は勾配のゆるやかな直線r2上にあり、低い界面抵抗を安定に得ることができるであろう。

【0031】

メサ型GaN系半導体レーザ装置を作成した場合、全エピタキシャル層の抵抗が約 10Ω 程度となる。AlGaN/SiC界面の界面抵抗は、この全エピタキ

シャル層の抵抗値よりも低くすることが望まれる。

【0032】

エピタキシャル層の面積が $700\text{ }\mu\text{m} \times 4\text{ }\mu\text{m}$ 程度である場合、キャリア濃度が $3 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ であっても界面抵抗の値はエピタキシャル層の全抵抗よりも確実に小さなものとすることができます。従って、n型AlGaN層2のキャリア濃度としては、約 $3 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましい。

【0033】

なお、n型AlGaN層のキャリア濃度を $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$ を越える値にしようとした場合、AlGaN層表面に非常に多くの結晶欠陥が発生し、実験を行うことが困難であった。従って、n型AlGaN層2のキャリア濃度は約 $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが好ましい。

【0034】

上記の実験においては、n型SiC基板上に成長するn型AlGaN層2のキャリア濃度を変化させた。次に、n型SiC基板1のキャリア濃度を変化させ、界面抵抗率の変化を測定した。n型Al_xGa_{1-x}N層2のAl組成はx=0.09、キャリア濃度は $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ とした。

【0035】

図2は、n型Si基板のキャリア濃度を変化させた時の界面抵抗率の変化を示すグラフである。図中横軸はn型SiC基板1内のキャリア濃度を単位 cm^{-3} で対数スケールで示し、縦軸はSiC/AlGaN界面の界面抵抗率を単位 $\Omega\text{ cm}^2$ で対数スケールで示す。グラフには、n型Si基板のキャリア濃度を $1 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ から $3 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ まで変化させた時のプロットを示す。

【0036】

図から明らかなように、得られたプロットは直線r3、r4上にある。すなわち、n型SiC基板1のキャリア濃度が約 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下の場合、界面抵抗率は直線r3上にあり、キャリア濃度が約 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以上の場合、界面抵抗率は直線r4の上にある。直線r4は、直線r3よりも勾配がゆるやかであり、キャリア濃度を変化させても界面抵抗率の変化は小さい。

【0037】

SiC基板1のキャリア濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くしようとした場合、SiCバルク結晶の結晶性が著しく劣化し、実験ができなかった。

【0038】

従って、n型SiC基板1は、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲のキャリア濃度を有することが好ましい。キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、界面抵抗は急激に増大する。キャリア濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ を越えるとSiC基板の結晶性が劣化する。

【0039】

次に、n型 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ 層2のAl組成xを変化させた場合界面抵抗率がどのように変化するかを調べた。n型SiC基板1のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、n型AlGaN層2のキャリア濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0040】

図3は、n型AlGaN層2のAl組成を変化させた時の界面抵抗率の変化の様子を示す。横軸はAl組成を単位%で示し、縦軸は界面抵抗率を示す。横軸、縦軸共にリニアスケールで示す。

【0041】

図から明らかなように、得られた界面抵抗率のプロットは、直線r5、r6上にある。Al組成が約9%以下の領域においては勾配のゆるやかな直線r4上に界面抵抗率のプロットが存在し、Al組成が約9%を越えると、界面抵抗率のプロットは勾配のより急峻な直線r6上にあり、Al組成の増加と共に界面抵抗率は急峻に増加する。従って、n型AlGaNバッファ層2のAl組成は、9%未満とすることが好ましい。

【0042】

上述の結果は、結晶成長方法としてMOVPEを用いて得た。しかしながら、界面抵抗率は基本的にバンド構造と不純物濃度とに支配されると考えられる。従って、分子線エピタキシ(MBE)等の他の成長方法を用いても同様の結果が得られる可能性は高いと考えられる。

【0043】

GaN系半導体結晶の結晶成長をMOVPEによって行う場合、成長圧力を100 torrとしていた。しかし、成長圧力を100 torrとした場合、平坦な表面のエピタキシャル層を得るために、SiC基板上に直接成長するAlGaNバッファ層のAl組成を8%より大きくする必要があった。成長条件を種々に変化させた結果、成長圧力を下げるにより8%以下のAl組成のAlGaN層でも平坦な表面を形成することができることを見いだした。

【0044】

図4は、MOVPEによるAlGaN層成長において、成長圧力と平坦な表面を得るために必要な最低Al組成の関係を示す。横軸は成長圧力を単位torrでリニアスケールで示し、縦軸は最低Al組成を単位%でリニアスケールで示す。成長圧力を低下させるに従い、平坦な表面を得るために必要な最低Al組成(%)は次第に減少している。言い換えると、低いAl組成のAlGaN層も、成長圧力を下げたMOVPEで成長すれば平坦な表面を有するようになる。

【0045】

なお、Al組成のプロットは、約±1%程度の誤差を含む。成長圧力100 torr、70 torr、50 torrのプロットは、ほぼ直線r7上に乗っているが、成長圧力20 torrのプロットは、この直線r7から幾分離れている。しかしながら、これが測定誤差によるものか、成長構造の変化によるものかは現在のところ不明である。

【0046】

本明細書においては、成長圧力に関するAl組成x(%)の値は、約±1%の誤差を含むものとし、その値を約x%と表現する。

【0047】

約8%のAl組成を有し、平坦な表面を有するAlGaN層を成長するためには、成長圧力は90 torr以下とすることが好ましい。Al組成約6%の平坦な表面を有するAlGaN層を成長するためには、成長圧力は70 torr以下とすることが好ましい。Al組成約4%で平坦な表面を有するAlGaN層を成長するためには、成長圧力は50 torr以下とすることが好ましい。同様、Al組成約2%で平坦な表面を有するAlGaN層を成長するためには、成長圧力

を20 torr以下とすることが好ましい。

【0048】

以上説明した実験結果を利用することにより、n型SiC基板上にn型AlGaN層をエピタキシャルに成長し、低い界面抵抗と平坦な表面を実現することができる。従って、さらに必要なエピタキシャル層を積層することにより、しきい値電圧の低いGaN系半導体レーザ装置を実現することができる。SiC基板上にn側電極を形成した半導体装置を作成することができる。

【0049】

図5は、上述の実験結果を利用したGaN系半導体レーザの構造を概略的に示す。

【0050】

n型SiC基板11は、6Hウルツァイト構造を有し、その表面は(0001)Si面である。n型SiC基板11には窒素がドープされており、n型の導電性を示す。n型キャリア濃度は、例えば $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0051】

n型SiC基板11の表面上に、n型層構造10、活性層構造20、p型層構造30が積層されている。n型層構造10は、下からn型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nのバッファ層12、n型GaNのバッファ層13、n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nのクラッド層14、n型GaNの光ガイド層15を含む。

【0052】

n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層12は、例えば厚さ約0.15 μm、n型不純物Si濃度 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。n型GaNバッファ層13は、例えば厚さ約0.1 μm、n型不純物Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nクラッド層14は、例えば厚さ約0.5 μm、n型不純物Si濃度約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。n型GaN光ガイド層15は、例えば厚さ約0.1 μm、n型不純物Si濃度約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。

【0053】

活性層20はIn_{0.15}Ga_{0.85}N/In_{0.03}Ga_{0.97}Nで形成されるノンドープ多重量子井戸構造であり、3層のIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層と4層のIn_{0.03}

$\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ バリア層とが交互に配置された構造を有する。 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 井戸層は、例えば厚さ約 4.0 nm であり、 $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ バリア層は例えば厚さ約 5.0 nm である。

【0054】

p 型層構造 30 は、下から p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ のエレクトロンブロック層 31、 p 型 GaN の光ガイド層 32、 p 型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ のクラッド層 33、 p 型 GaN のコンタクト層 34 を含む。

【0055】

p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ エレクトロンブロック層 31 は、下方から進入する電子をブロックする役割を果たす。このエレクトロンブロック層は、例えば厚さ約 20 nm であり、 p 型不純物 Mg 濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。 p 型 GaN 光ガイド層 32 は、例えば厚さ約 0.1 μm、 p 型不純物 Mg 濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。 p 型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ クラッド層 33 は、例えば厚さ約 0.5 μm、 p 型不純物 Mg 濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。 p 型 GaN コンタクト層 34 は、 p 型電極に対するコンタクト抵抗を低減させるための層であり、例えば厚さ 0.2 μm、 p 型不純物 Mg 濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。

【0056】

これらのエピタキシャル層は、減圧式の M O V P E により、例えば成長圧力 100 torr で成長することができる。成長原料としては、例えばトリメチルガリウム (TMG)、トリエチルガリウム (TEG)、トリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルインジウム (TMI)、アンモニア (NH_3) を用い、トーパント原料としてはモノシラン (SiH_4) とビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp_2Mg) を用いることができる。 n 型 SiC 基板 11 は、種結晶を用いた気相成長法である改良レイリー法によりバルク成長した SiC 基板を用いることができる。

【0057】

n 型層構造 10 の成長は、例えば成長温度 1090°C、成長速度 2 μm/h r で成長することができる。活性層構造 20 は、例えば成長温度 780°C、成長速度約 0.3 μm/h r で成長することができる。 p 型層構造 30 は、例えば成長

温度1130°C、成長速度1 μm/hrで成長することができる。

【0058】

n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層12がn型キャリア濃度約8×10¹⁸cm⁻³を有するため、図1(B)のグラフから明らかなようにn型SiC基板11とn型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層12との界面の界面抵抗を低く抑えることができる。

【0059】

なお、n型SiC基板11としては厚さ200 μmの基板を用いてその上にエピタキシャル成長を行い、成長後SiC基板の裏面を研磨し、厚さを約100 μm程度まで薄くする。その後、ドライエッチングによりエピタキシャル層表面に幅約3～5 μm、たとえば3.5 μm、高さ約0.4 μmのメサを形成する。クラッド層33の厚さ分布を形成することにより、屈折率ガイド構造が形成され、レーザの横モード制御が行われる。

【0060】

メサ表面に例えばSiO₂で形成された絶縁膜41を堆積し、窓を形成してn型GaNコンタクト層34表面を露出させる。窓の幅は、例えば2～4 μm程度とする。

【0061】

その後、SiC基板11裏面全面にNi層、Ti層、Au層を順次積層し、n側電極43を形成する。また、メサ上面にNi層、Ti層、Au層を順次積層し、パターニングしてn側電極42を作成する。

【0062】

電極形成後、メサのストライプ方向と直交する方向に劈開を行い、例えば長さ約700 μmのリッジ型共振器を形成する。ストライプの方向は[1-100]方向であり、劈開面は(1-100)面である。

【0063】

このような構造により、半導体レーザ素子を作成し、波長420 nmで発振させることができた。駆動電源としてパルス電源を用い、1 kHz～10 kHzで駆動した。しきい値電圧500 mA、しきい値電圧15 Vが得られた。

【0064】

比較のため、n型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層12のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ としたサンプルも作成した。このサンプルにおいては、420 nmで発振を行うことができたが、しきい値電流は500 mA、しきい値電圧は22 Vであった。すなわち、n型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層12のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に増加させたことにより、しきい値電圧を22 Vから15 Vに減少させることができた。

【0065】

さらに、SiC基板の濃度を $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に増加させ同様の半導体レーザを作成した。このレーザは420 nmで発振し、しきい値電流は500 mA、しきい値電圧は12 Vであった。SiC基板のn型キャリア濃度を増大させることにより、しきい値電圧がさらに3 V低下した。

【0066】

図1 (B) に示す特性からは、n型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層12のキャリア濃度をさらに増大させれば、しきい値電圧をさらに低下させることができると推測される。また、図3の特性からは、n型AlGaNバッファ層のAl組成を0.09からより小さな値に減少させることにより、界面抵抗を減少させることができ、しきい値電圧をさらに減少させることができると期待される。

【0067】

Al組成を減少させ、かつ平坦な表面を得るためにには、図4に示すように成長圧力を減少させることが好ましい。例えば、n型 $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ 層12の代わりにn型 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ バッファ層を成長圧力40 torrで形成する。他の層は図5で説明したものと同様であり、その製造プロセスも同様である。

【0068】

n型 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ バッファ層のn型不純物Si濃度が約 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とすれば、しきい値電圧は約10 V程度と低下するであろう。n型SiC基板表面上に形成するn型AlGaNバッファ層のAl組成をさらに減少させれば、界面抵抗、従ってしきい値電圧はさらに低下するであろう。

【0069】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、作成する半導体装置の種類は図5に示すレーザに限定されない。GaN系半導体の組成も種々変更することができる。その他、種々の変更、改良、組み合わせが可能なことは当業者に自明であろう。

【0070】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、SiC基板とAlGaNバッファ層界面の界面抵抗を下げることが可能となる。このような積層構造を用いることにより、特性の優れたGaN系半導体レーザを作成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

実験に用いたサンプルの構成を示す概略断面図およびn型AlGaN層のキャリア濃度に対する界面抵抗率の変化を示すグラフである。

【図2】

n型SiC基板のキャリア濃度に対する界面抵抗率の変化を示すグラフである

【図3】

Al組成に対する界面抵抗率の変化を示すグラフである。

【図4】

成長圧力に対する平坦化のために必要な最低Al組成の関係を示すグラフである。

【図5】

半導体レーザの構成を概略的に示す断面図である。

【符号の説明】

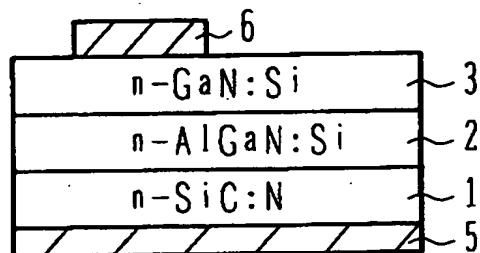
- 1 n型SiC基板
- 2 n型AlGaNバッファ層
- 3 n型GaN層
- 5 n型SiC基板上の電極
- 6 n型GaN層上の電極

- 1 0 n型層構造
- 1 1 n型SiC基板
- 1 2 n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層
- 1 3 n型GaNバッファ層
- 1 4 n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nクラッド層
- 1 5 n型GaN光ガイド層
- 2 0 活性層構造
- 3 0 p型層構造
- 3 1 p型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nエレクトロンブロック層
- 3 2 p型GaN光ガイド層
- 3 3 p型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nクラッド層
- 3 4 p型GaNコンタクト層
- 4 2 p側電極
- 4 3 n側電極

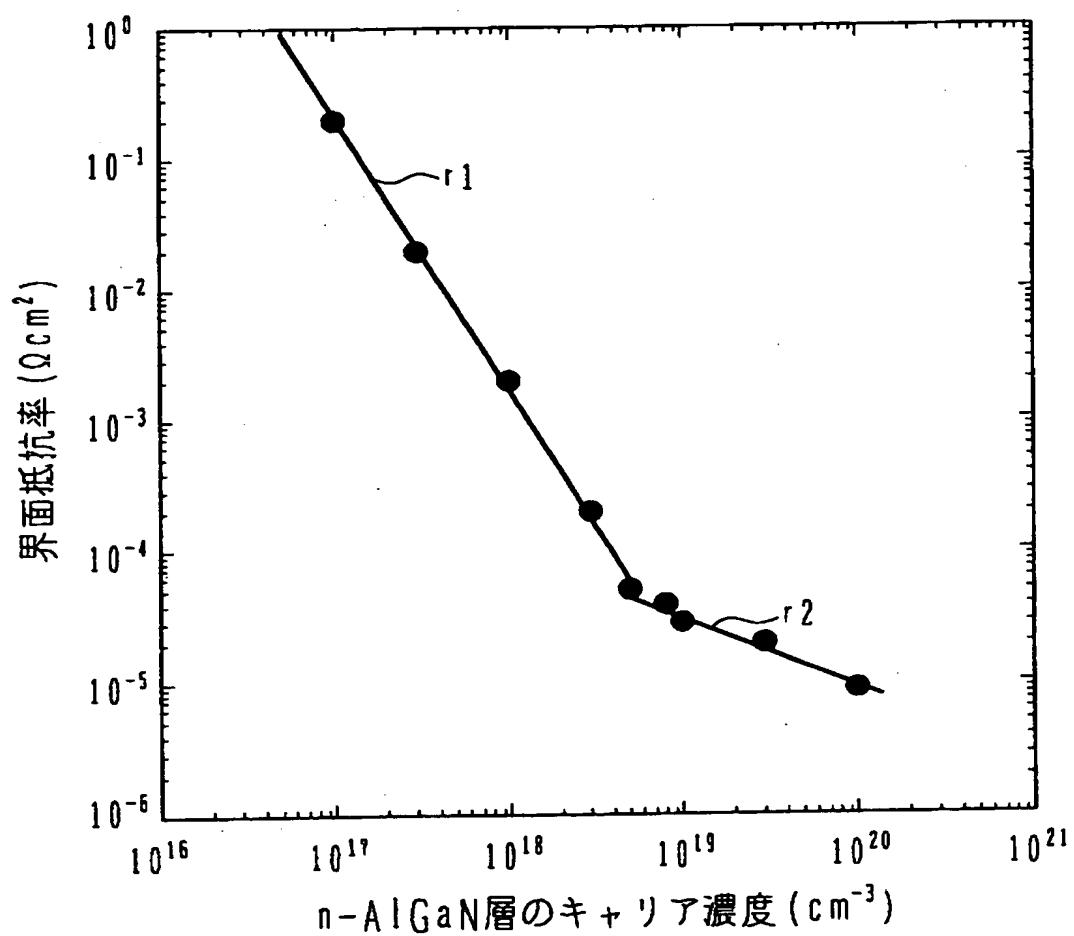
【書類名】 図面

【図1】

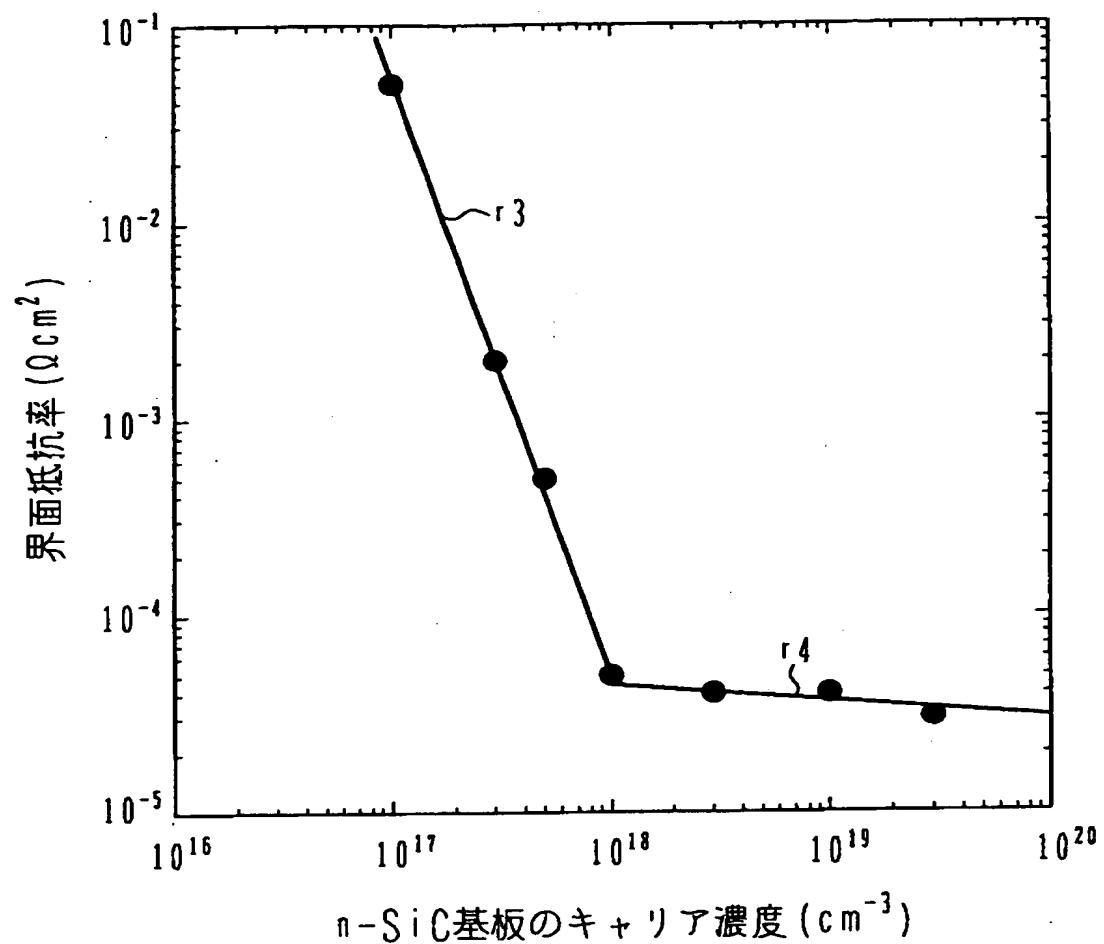
(A)



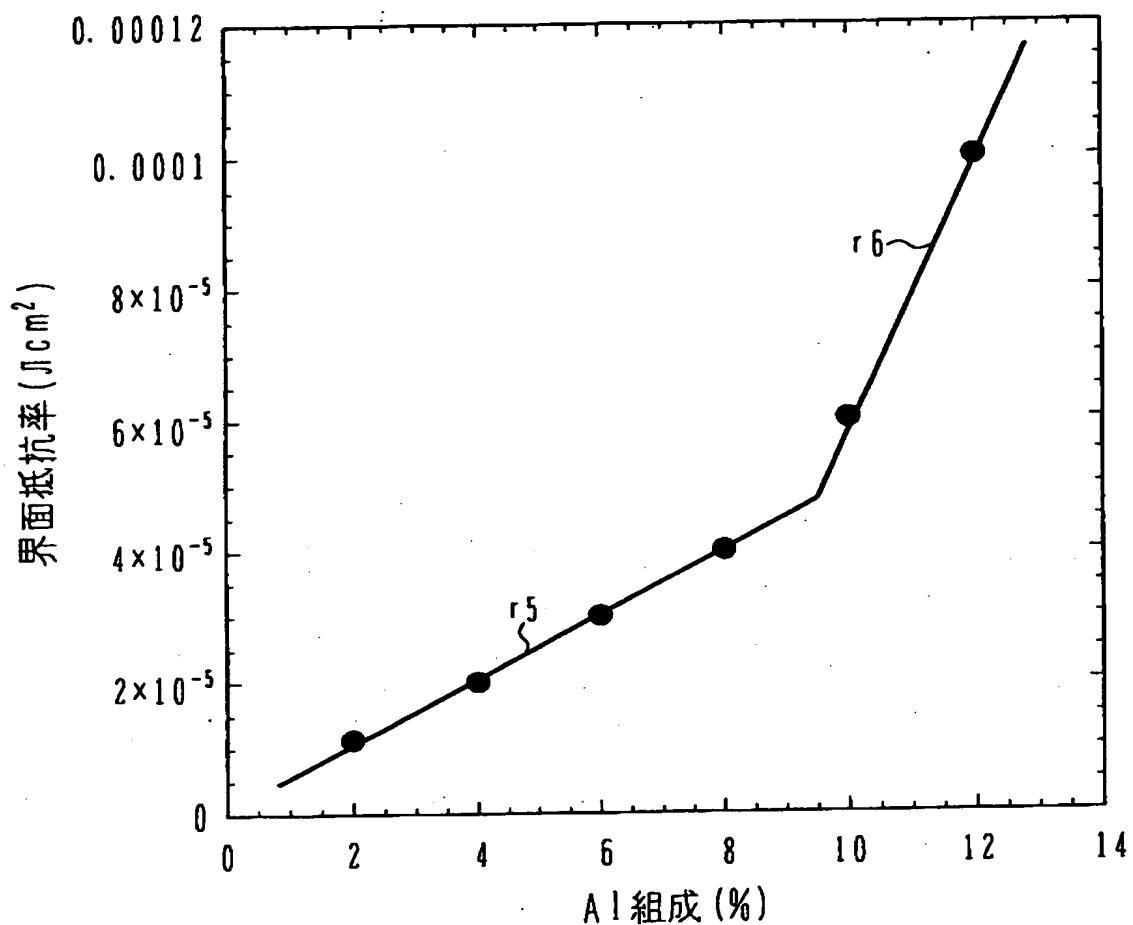
(B)



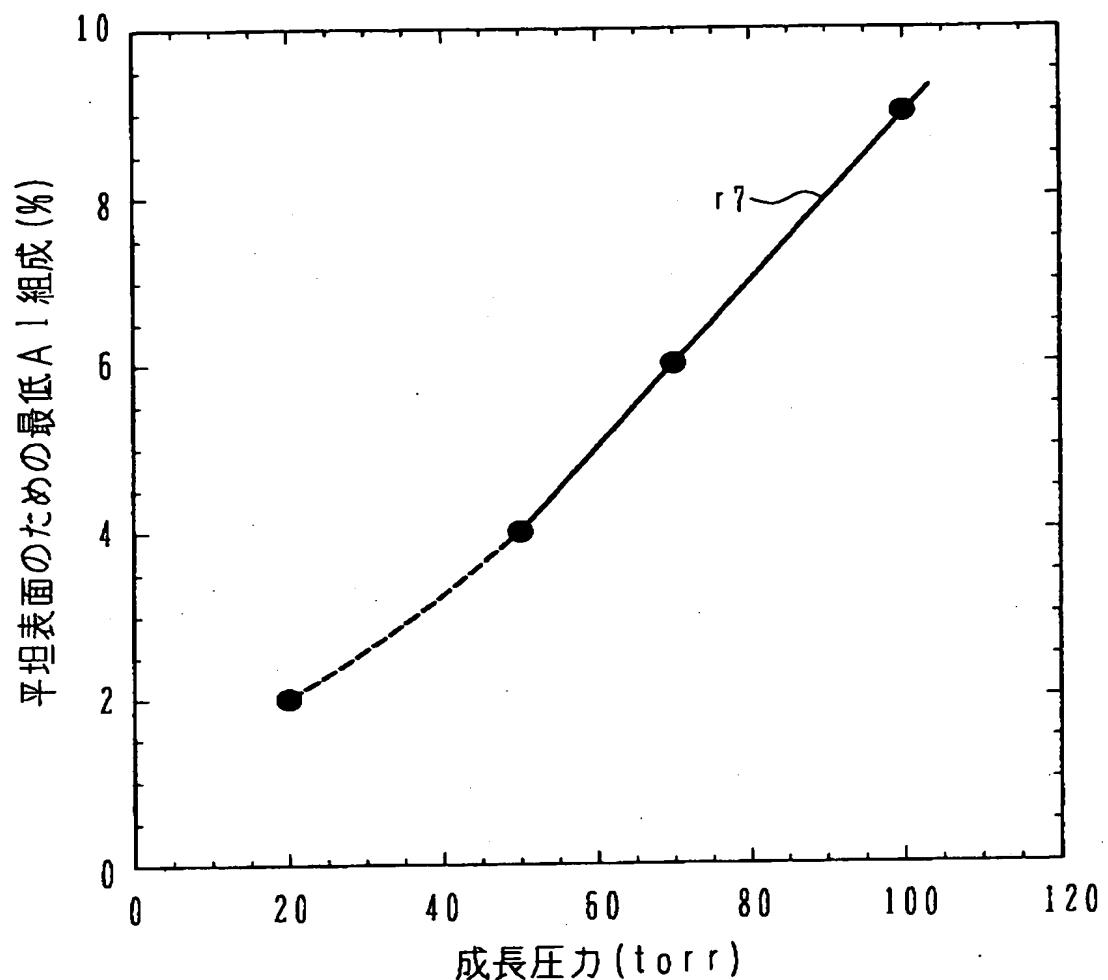
【図2】



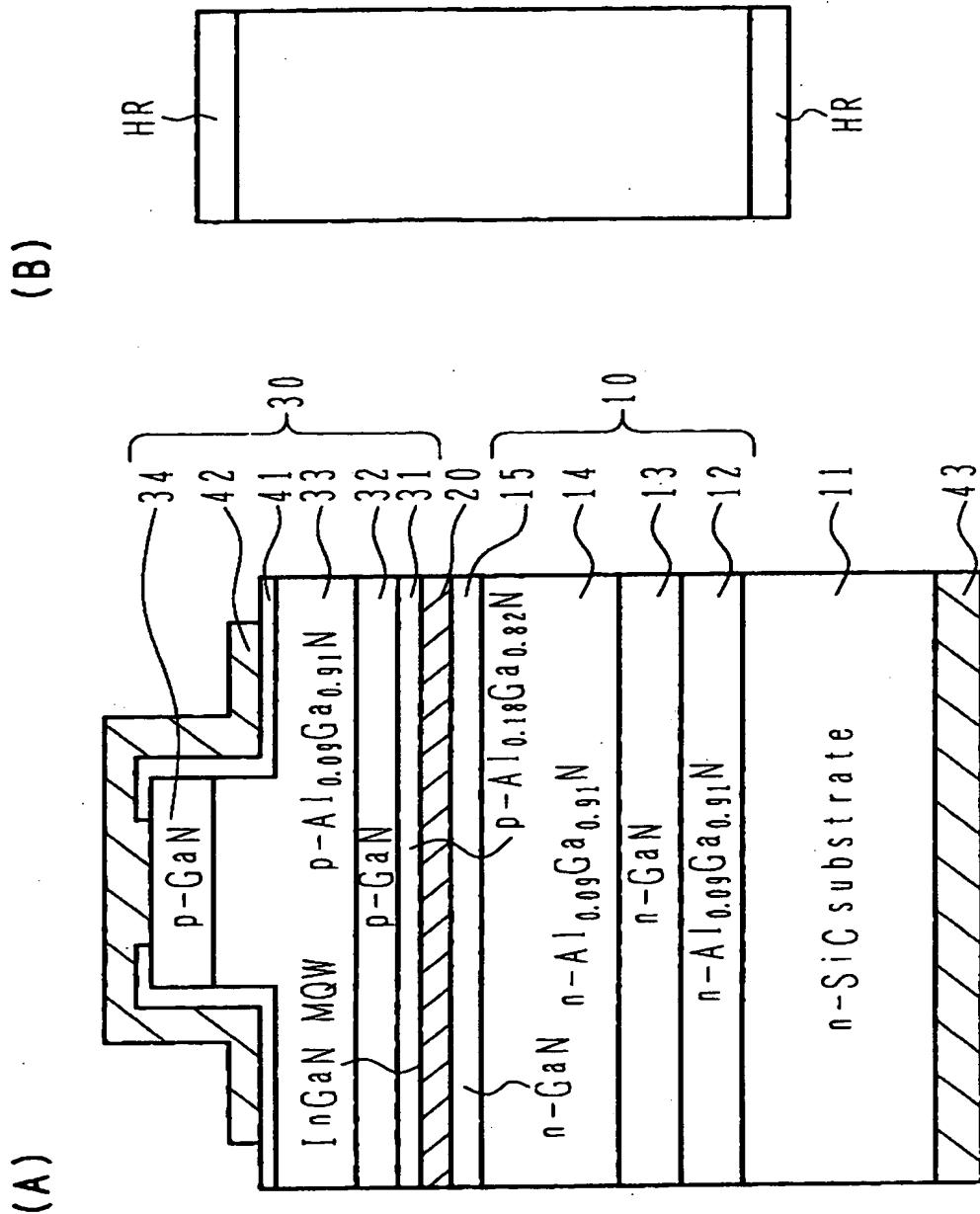
【図3】



【図4】



【図5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 SiC基板上に形成するGaN系半導体技術に関し、SiC基板上にGaN系半導体結晶をエピタキシャルに成長し、かつSiC基板とGaN系半導体結晶層との間に良好な電気的伝導性を実現する技術を提供することとする。

【解決手段】 n型SiC基板と、前記n型SiC基板上に直接エピタキシャルに形成され、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有するn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x < 0.4$)とを有する。

【選択図】 図1

【書類名】 職權訂正データ
【訂正書類】 特許願

〈認定情報・付加情報〉

【特許出願人】

【識別番号】 000005223
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100091340
【住所又は居所】 東京都台東区台東3丁目40番10号 村上ビル5
階 高橋来山特許事務所
【氏名又は名称】 高橋 敬四郎

出願人履歴情報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社